

Studi Karakteristik Air-Tanah di Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ) dengan Metode Hidrokimia dan Isotop Alam

Study of Groundwater Characteristic in Nuclear Area of Pasar Jumat (KNPJ) Using Hydrochemical and Natural Isotop Method

Neneng Laksminingpuri Sanusi*, Nurfadhlini, Satrio

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Ps. Jumat, Jakarta, 12440, Indonesia

*E-mail: laksmi@batan.go.id

Naskah diterima: 6 Februari 2018, direvisi: 25 Mei 2018, disetujui: 31 Mei 2018

DOI: [10.17146/eksplorium.2018.39.1.4100](https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.1.4100)

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian air-tanah di Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ) menggunakan metode hidrokimia dan isotop alam. Penelitian dilakukan dengan mengambil sejumlah sampel air di beberapa kawasan KNPJ dan sekitarnya. Sampel air tersebut kemudian dianalisis konsentrasi kimia airnya (anion-kation) dan konsentrasi isotop alam $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ menggunakan alat *lasser counter*. Analisis kimia air dilakukan menggunakan metode ion kromatografi dan titrasi. Tujuan penelitian ini, yaitu untuk mengetahui karakteristik air-tanah terhadap kemungkinan interaksi dengan air permukaan sekitarnya. Berdasarkan hasil analisis hidrokimia (anion-kation) dan isotop alam ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) menunjukkan bahwa air-tanah dalam masih mencerminkan karakter sebagai air-tanah segar atau *freshwater*. Air-tanah akuifer dalam juga terindikasi tidak berhubungan dengan air-tanah akuifer dangkal yang berada di atasnya. Air-tanah dangkal, sebagian besar masih menunjukkan karakter air-tanah segar dan sebagian lainnya, yaitu SB-8, SB-9, dan SB-10, air-tanahnya mengalami pertukaran ion dan interaksi dengan air permukaan. Air permukaan untuk SB-8 diperkirakan berasal dari rembesan larutan pupuk tanaman sedangkan untuk SB-9 dan SB-10 air permukaan diperkirakan berasal dari rembesan tanki kotoran (*septic tank*).

Kata kunci: hidrokimia, isotop alam, rembesan air permukaan, karakteristik air-tanah, KNPJ

ABSTRACT

Groundwater research has been conducted in Nuclear Area of Pasar Jumat (KNPJ) using hydrochemical data and natural isotopes methods. The research was conducted by taking a number of water samples in some areas of KNPJ and also its surrounding areas. The water samples were then analyzed its hydrochemical concentration (anion-cation) and natural isotope concentration $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ using *lasser counter* device. Water chemical analysis was conducted by using ion chromatography and titration methods. The purpose of this research is to know the characteristics of groundwater to the possibility of its interaction with the surrounding surface water. Based on the results of hydrochemical analysis (anion-cation) and natural isotopes ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) indicates that groundwater still reflects the character as fresh groundwater or *freshwater*. The deep aquifer groundwater is also indicated to be unrelated to groundwater of shallow aquifers located above it. While most shallow groundwater still show the character of fresh groundwater, and some others namely SB-8, SB-9, and SB-10, the groundwater undergo ion exchanges and interact with surface water. Surface water for SB-8 is estimated come from the seepage of the liquid plant fertilizer, whereas for SB-9 and SB-10 surface water is estimated come from *septic tank* seepage.

Keywords: hydrochemical, natural isotopes, groundwater characteristics, KNPJ

PENDAHULUAN

Jakarta, sebagai ibu kota Republik Indonesia terus berkembang dengan sangat pesat sehingga kini akan membangun infrastruktur di bawah tanah. Sejak awal berdirinya, air-tanah merupakan sumber air yang penting untuk ibu kota ini. Jumlah penduduk yang padat dan aktivitas pembangunan yang tinggi telah menyebabkan penurunan muka air-tanah Jakarta. Penggunaan air-tanah dari dasawarsa ke dasawarsa yang terus meningkat hingga saat ini telah menimbulkan beberapa dampak penting, baik kuantitas maupun kualitas yang perlu segera diatasi [1–3]. Konservasi air-tanah telah dilakukan dan perlu terus dilakukan untuk mengatasi dampak tersebut [4,5]. Sebagai pusat pertumbuhan ekonomi dan industri di Indonesia, Jakarta dituntut untuk mampu menata ruang di bawah tanahnya agar jangan sampai berbenturan dengan upaya konservasi air-tanah tersebut. Untuk itu, bukan saja kondisi batuan di bawah tanah Jakarta yang terlebih dahulu harus diketahui melainkan juga keadaan air-tanahnya. Informasi terkini tentang air-tanah dan kendala yang mungkin ditimbulkannya dalam pembangunan bawah tanah Jakarta mutlak diperlukan dan dipahami terlebih dahulu oleh semua pihak yang terkait dengan pembangunan tersebut.

Dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk maupun perindustrian di Jakarta maka kebutuhan air bersih semakin meningkat sehingga untuk memenuhinya biasanya memanfaatkan air-tanah dengan cara membuat sumur-sumur bor, baik dilakukan oleh swasta maupun oleh pemerintah [6]. Untuk pengambilan air-tanah harus sesuai aturan dan perundang-undangan yang ada sehingga tidak menimbulkan kerusakan

lingkungan berupa penurunan muka tanah, intrusi air laut, dan lain-lain.

Berbagai penelitian telah dilakukan di Kelompok Hidrologi dan Panas bumi. Salah satunya adalah penelitian mengenai interaksi air-tanah dengan air permukaan dengan menggunakan isotop alam dan hidrokimia [7]. Aplikasi penelitian air-tanah menggunakan isotop alam dapat digunakan untuk mengetahui asal-usul air-tanah, umur air-tanah, daerah imbuh, dan banyak manfaat yang lain [8]. Kandungan kimia air juga digunakan dalam memvalidasi hasil analisis isotop, baik melalui pendekatan *carbonate bicarbonate* maupun melalui diagram Piper yang digunakan untuk mengetahui tipe air [9]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik air-tanah terhadap kemungkinan interaksi dengan air permukaan sekitarnya. Air-tanah diambil sampelnya dengan menggunakan alat *water sampler* sebanyak masing-masing 500 ml untuk analisis anion dan kation, serta 20 ml untuk analisis isotop deuterium (^2H) dan oksigen-18 (^{18}O). Selanjutnya sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi. Pengukuran anion dan kation dilakukan dengan menggunakan kromatografi ion dan isotop deuterium serta oksigen-18, dianalisis menggunakan alat *lasser counter*. Lokasi penelitian berada di sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ), Lebak Bulus, Jakarta Selatan. Secara geografis lokasi berada pada koordinat antara 695817-696468 mT dan 9303651-9304152 mS.

METODOLOGI

Metode Pengambilan Sampel

Sampel air untuk analisis isotop ^{18}O dan ^2H diambil langsung dari sumur dangkal maupun sumur dalam yang ada di dalam kawasan KNPJ dan sekitarnya menggunakan

botol berkapasitas 20 ml yang dicelupkan ke dalam wadah berisi sampel air. Untuk mencegah penguapan, perlu dihindari adanya gelembung udara dalam botol. Sementara itu, pengambilan sampel kimia air dilakukan dengan menggunakan *water sampler* yang berbentuk pipa paralon sebanyak 500 ml untuk anion dan 500 ml untuk kation. Sampel air untuk analisis kation biasanya ditambahkan larutan asam sebanyak tiga tetes untuk menghindari pengendapan ion dan perubahan sifat akibat bakteri [10].

Metode Analisis

Analisis isotop alam ^{18}O dan ^2H dilakukan menggunakan alat *liquid water isotope analyzer Los Gatos Research* (LGR) tipe DLT-100. Hasil perhitungan analisis isotop ^{18}O dan ^2H mengacu kepada standar internasional, yaitu *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) yang memiliki nilai ^{18}O dan ^2H sebesar 0 ‰ secara definitif. Hasil perhitungan analisis rasio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dan $^2\text{H}/^1\text{H}$ dinyatakan dalam rasio relatif (δ) dengan satuan permil sebagai berikut [11–15]:

$$\delta = \frac{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{sampel}}}{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{standar}}} \times 1000 \text{ ‰}$$

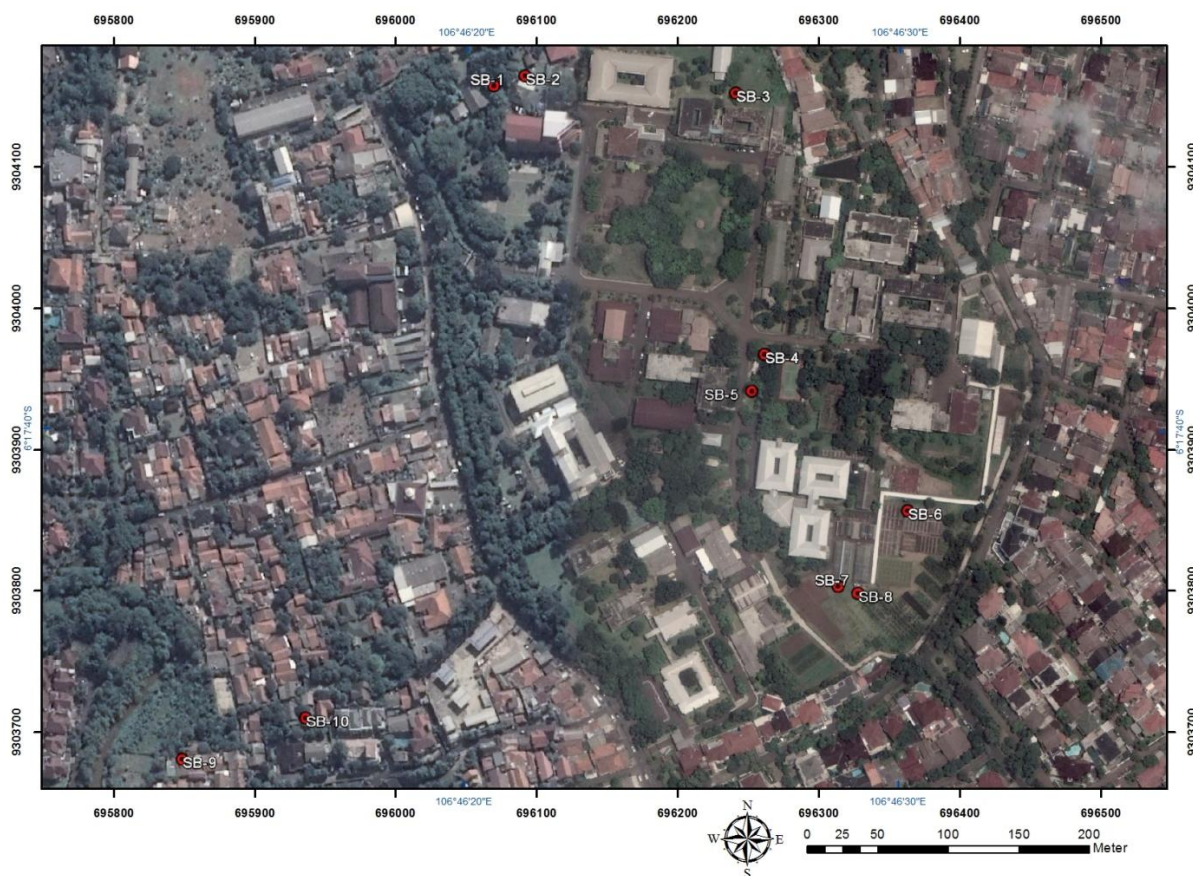
Analisis kimia air yang meliputi kation dan anion dilakukan menggunakan dua metode, yaitu ion kromatografi dan titrasi. Metode ion kromatografi menggunakan alat

kromatografi ion buatan Metrohm untuk analisis anion (Cl dan SO_4) dan kation (Na , K , Ca , dan Mg). Metode titrasi digunakan untuk analisis HCO_3 , sebagai titran digunakan HCl dan NaOH .

Titik pengambilan sampel air-tanah, baik yang berasal dari KNPJ maupun yang di luar kawasan selengkapnya dapat dilihat melalui Gambar 1. Terdapat sebelas lokasi yang berada dalam KNPJ dan dua lokasi berada di luar kawasan seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Lokasi titik pengambilan air-tanah di area KNPJ.

No.	Lokasi	Kode Sampel	Koordinat	
			X	Y
1	SB dangkal Mesjid	SB-1	696070	9304157
2	Sumur dalam masjid	SB-2	696092	9304164
3	Blk Gd 45A_1	SB-3a	696241	9304152
4	Blk Gd 45A_2	SB-3b	696243	9304152
5	Blk Gd 45A_3	SB-3c	696242	9304151
6	Blk Gd 45A_4	SB-3d	696242	9304150
7	SB dangkal Lapangan Tennis	SB-4	696262	9303967
8	SB dalam Lapangan Tennis	SB-5	696253	9303941
9	Bidang Pertanian	SB-6	696363	9303856
10	Tempat Proses Pertanian	SB-7	696314	9303803
11	SB Lab Pemuliaan	SB-8	696328	9303798
12	Kp Kapuk-1	SB-9	695848	9303680
13	Kp Kapuk-2	SB-10	695937	9303710



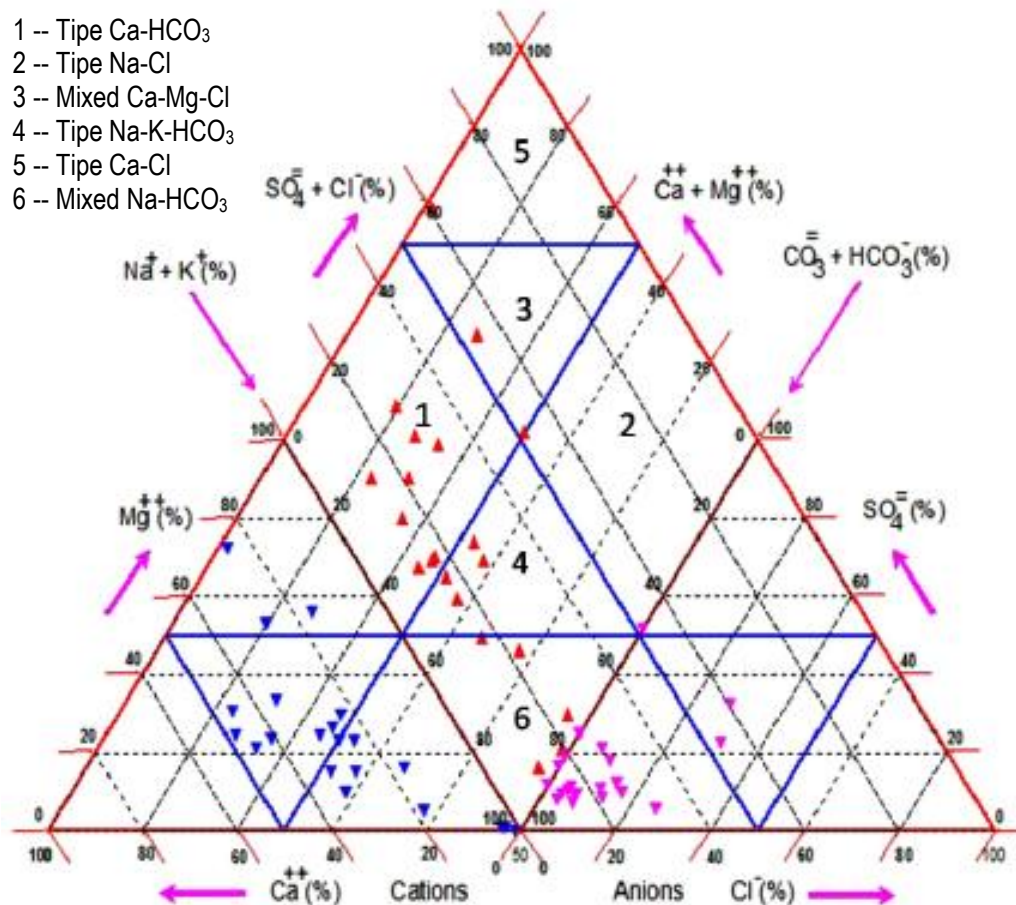
Gambar 1. Citra lokasi pengambilan sampel air-tanah di sekitar KNPJ (sumber citra: *googlemaps*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Kimia Air

Tabel 2 menunjukkan hasil analisis hidrokimia dari sampel air-tanah yang diambil di sekitar KNPJ. Dari data tersebut terlihat bahwa konsentrasi anion-kation air-tanah tersebut bervariasi sesuai dengan karakter atau genesis airnya [16,17]. Namun, perbedaan paling signifikan terletak pada konsentrasi bikarbonat (HCO_3) antara air-tanah dangkal dengan air-tanah dalam. Air-tanah dalam memiliki konsentrasi bikarbonat yang lebih tinggi dibandingkan dengan air-tanah dangkal. Hal ini bisa dipahami karena air-tanah akuifer dalam umumnya berasal dari daerah *recharge* yang jauh sehingga dalam proses melalui batuan menempuh perjalanan panjang dan melarutkan batuan karbonat lebih banyak dibandingkan air-tanah dangkal. Air-tanah dangkal cenderung banyak

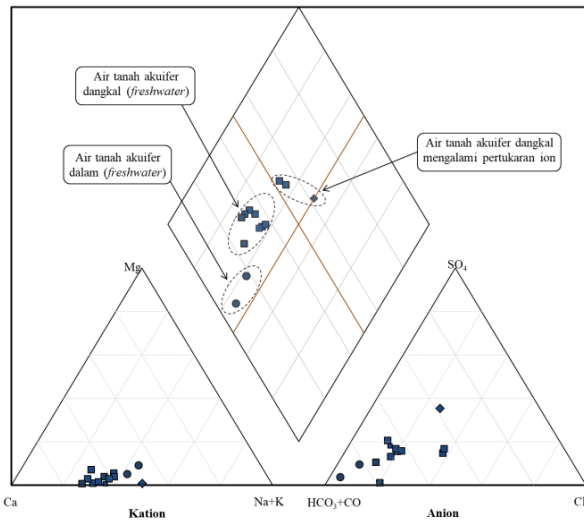
dipengaruhi resapan air hujan lokal sehingga umumnya memiliki konsentrasi bikarbonat yang rendah [18]. Selanjutnya untuk mengetahui karakter air-tanah tersebut, data hidrokimia diplotkan pada grafik diagram Piper. Jika mengacu pada pengelompokan tipe air berdasarkan diagram Piper (Gambar 2), terlihat bahwa air-tanah segar atau *freshwater* memiliki tipe CaHCO_3 , yaitu sampel SB-1 hingga SB-7 dan terdapat tiga air-tanah yang mengalami pertukaran ion sebagai akibat mengalami kontaminasi, yaitu sampel SB-8, SB-9, dan SB-10 dengan tipe air campuran CaMgCl . Diagram Piper sampel air sekitar KNPJ selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3. Karakter air-tanah berdasarkan sekitar KNPJ di atas selanjutnya divalidasi dengan hasil analisis isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$.



Gambar 2. Tipe air berdasarkan diagram Piper.

Tabel 2. Hasil analisis hidrokimia air-tanah kawasan KNPJ – Jakarta.

No.	Kode Sampel	Tipe Sumur	Konsentrasi Kation (ppm)				Konsentrasi Anion (ppm)		
			Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
1	SB-1	Dangkal	15,53	3,05	24,34	1,60	22,90	16,90	66,88
2	SB-2	Dalam	30,48	4,54	32,16	6,26	8,68	7,80	195,33
3	SB-3a	Dangkal	7,61	12,35	16,81	0,24	14,21	11,10	45,71
4	SB-3b	Dangkal	6,47	9,27	16,13	0,66	9,08	13,60	43,27
5	SB-3c	Dangkal	11,61	2,16	21,53	1,32	13,24	9,90	70,14
6	SB-3d	Dangkal	9,61	1,97	15,23	1,45	13,82	12,40	47,47
7	SB-4	Dangkal	11,05	1,97	26,92	2,90	18,55	13,20	68,21
8	SB-5	Dalam	20,15	5,08	25,49	2,48	12,63	14,00	120,56
9	SB-6	Dangkal	7,20	1,39	12,81	0,12	9,08	10,10	37,30
10	SB-7	Dangkal	9,38	0,16	25,51	0,38	10,66	15,20	60,89
11	SB-8	Dangkal	8,73	0,13	8,66	0,11	9,47	12,50	13,54
12	SB-9	Dangkal	10,06	0,50	20,30	0,45	24,48	9,60	30,69
13	SB-10	Dangkal	10,69	0,52	18,15	0,85	23,13	10,40	28,38



Gambar 3. Diagram Piper sampel air-tanah sekitar KNPJ.

Hasil Analisis Isotop

Hasil analisis isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ dari sampel-sampel air-tanah sekitar KNPJ ditunjukkan Tabel 3. Berdasarkan hasil analisis tersebut terlihat bahwa variasi konsentrasi isotop stabil $\delta^2\text{H}$ berkisar antara $-44,4\text{‰}$ hingga $-35,80\text{‰}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ antara $-7,74\text{‰}$ hingga $-4,35\text{‰}$. Variasi nilai isotop ini selanjutnya diplotkan ke dalam grafik hubungan $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ dengan garis meteorik acuan menggunakan garis meteorik Indonesia [19] dengan persamaan $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$.

Tabel 3. Hasil analisis isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$.

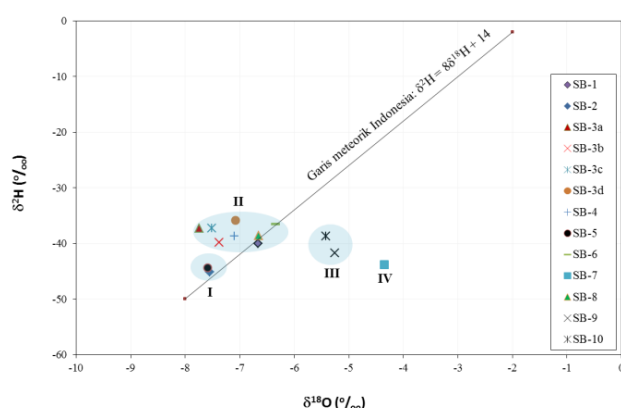
No.	Kode Sampel	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	SB-1	-40,00	-6,66
2	SB-2	45,10	-7,55
3	SB-3a	-37,30	-7,74
4	SB-3b	-39,80	-7,38
5	SB-3c	-37,30	-7,51
6	SB-3d	-35,80	-7,08
7	SB-4	-38,70	-7,10
8	SB-5	-44,40	-7,59
9	SB-6	-36,50	-6,35
10	SB-7	-43,80	-4,35
11	SB-8	-38,60	-6,65
12	SB-9	-41,70	-5,26
13	SB-10	-38,70	-5,42

Grafik hubungan $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 4 terlihat bahwa air-tanah yang berada di sekitar KNPJ diklasifikasikan menjadi empat kelompok berikut ini:

1. Kelompok-I: nilai isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ air-tanah pada kelompok ini merupakan yang paling miskin atau *depleted* jika dibandingkan dengan air-tanah lainnya. Air-tanah yang termasuk pada kelompok ini, yaitu SB-2 dan SB-5. Kedua air-tanah tersebut merupakan air-tanah akuifer dalam dengan kedalaman antara 60 m hingga 100 m dibawah permukaan tanah setempat (dpts). Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa air-tanah SB-2 dan SB-5 tidak saling berhubungan dengan air-tanah dangkal yang berada di sekitarnya. Ini mengindikasikan bahwa kedua air-tanah tersebut memiliki perbedaan asal dengan air-tanah dangkal dan masih menunjukkan sebagai *freshwater* sebagaimana yang telah ditunjukkan oleh hasil analisis kimia air.
2. Kelompok-II: nilai isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ kelompok ini lebih kaya atau *enriched* dibandingkan dengan kelompok-I. Air-tanah pada kelompok ini merupakan air-tanah dangkal dengan kedalaman sekitar 20 m dpts. Air-tanah yang termasuk kelompok ini, yaitu: SB-1, SB-3a, SB-3b, SB-3c, SB-3d, SB-4, SB-6, dan SB-8. Sumur SB-1, SB-6, dan SB-8 menempel di garis meteorik lokal menunjukkan bahwa sumur-sumur ini masih merupakan air hujan, dalam artian tidak mengalami perubahan apapun dalam perjalanannya dan tidak berinteraksi dengan batuan mineral. Sumur SB-3a, SB-3b, SB-3c, SB-3d, dan SB-4 yang berada di atas sebelah kiri

garis meteorik lokal menunjukkan adanya interaksi dengan mineral batuan pada suhu dingin.

3. Kelompok-III: nilai isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ air-tanah pada kelompok ini mengalami pergeseran menjauhi garis meteorik. Karakter seperti ini diperkirakan diakibatkan oleh terjadinya proses evaporasi atau mengalami interaksi dengan air permukaan di sekitarnya, serta interaksi dengan bebatuan pada temperatur yang hangat. Air-tanah yang termasuk kelompok ini, yaitu SB-9 dan SB-10 yang merupakan air sumur dangkal milik penduduk di luar KNPJ.
4. Kelompok-IV: air-tanah SB-7 mengalami pergeseran nilai isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ yang cukup signifikan dan diindikasikan sebagai air-tanah yang mengalami proses pengkayaan oksigen atau *oxygen-shifting*. Proses ini disebabkan adanya pertukaran isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ antara ^{18}O yang berasal dari air dengan ^{18}O yang berasal dari batuan (seperti CaCO_3 , SiO_2).



Gambar 4. Grafik hubungan antara isotop stabil $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrokimia (anion-kation) menunjukkan bahwa air-tanah

akuifer dalam masih mencerminkan karakter sebagai air-tanah segar atau *freshwater*. Sebagian besar air-tanah dangkal masih menunjukkan karakter air-tanah segar sedangkan sebagian lainnya, yaitu SB-8, SB-9, dan SB-10, air-tanahnya mengalami pertukaran ion dan interaksi dengan air permukaan dan bebatuan. Karakter ketiga air sumur dangkal (SB-8, SB-9, dan SB-10) tersebut juga didukung dengan hasil analisis isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ yang mengindikasikan adanya interaksi air-tanah dengan air permukaan. Jika dibandingkan dengan air-tanah akuifer dangkal, konsentrasi isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ pada air-tanah akuifer dalam di KNPJ lebih miskin atau *depleted* yang mengindikasikan perbedaan asal-usulnya. Air-tanah akuifer dalam dengan konsentrasi isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ yang lebih miskin pada umumnya berasal dari daerah resapan yang jaraknya relatif jauh. Sementara itu, air-tanah akuifer dangkal pada umumnya berasal dari resapan lokal atau *local recharge*. Berdasarkan grafik $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$, air-tanah akuifer dalam tidak berhubungan dengan air tanah akuifer dangkal yang berada di atasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Sahara, mahasiswi IPB yang telah membantu dalam pengambilan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satrio dan P. Sidauruk, "Studi Daerah Imbuh Sistem Air Sungai Bawah Tanah Gunungkidul Yogyakarta Menggunakan Isotop Stabil ^{18}O dan ^2H ", *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 12, no. 1, 2015.
- [2] Satrio, Hendarmawan, M. S. D. Hadian, dan E. R. Pujiindiyati, "Karakteristik Airtanah Dangkal Kota Semarang pada Musim Penghujan Berdasarkan Pendekatan Isotop Stabil (^{18}O , ^2H)

- dan Kimia Air”, *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 11, no. 1, pp. 73–86, 2015.
- [3] A. H. Cheng and P. Sidauruk, “A Groundwater Flow Mathematica Tool Package”, *Groundwater*, 34 (1), pp. 41–48, 1998.
- [4] H. Tirtomihardjo, “Airtanah dan Pembangunan Bawah Tanah Jakarta”, *Geomagz*, 28 Januari 2014, [Online]. Tersedia: <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/air-tanah-dan-pembangunan-bawah-tanah-jakarta>.
- [5] H. L. Kharisma, A. B. Wijatna, dan W. Wilopo, “Aplikasi Isotop Alam untuk Mengetahui Asal-Usul Air Umbul Cokro, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten”, *Forum Teknik*, vol. 36, no. 11, pp. 73–80, 2015.
- [6] Satrio, Syafalni, dan P. Sidauruk, “Studi Karakteristik Airtanah Dangkal Sekitar TPST Bantar Gebang, Bekasi dengan Metode Sumur Tunggal dan Ganda”, *J. Ilm. Apl. Isotop dan Radiasi*, vol. 10, no.1, pp. 1–10, 2014.
- [7] N. Laksmi Ningsih dan Satrio, “Aplikasi Isotop Stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ untuk Studi Airtanah di Kawasan PPTN Pasar Jumat”, in *Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir*, PRFN-BATAN, pp. 63–69, 2016.
- [8] B. Sharma, R. Singh, P. Singh, D. P. Uniyal, and R. Dobhal, “Water Resources Management Through Isotope Technology in Changing Climate”, *American Journal of Water Resources*, vol. 3, no. 3, pp. 86–91, 2015, DOI: 10.12691/ajwr-3-3-3.
- [9] Y. Mtoni, I. C. Mjemah, C. Bakundukize, M. V. Camp, K. Martens, and K. Walraevens, “Saltwater Intrusion and Nitrate Pollution in The Coastal Aquifer of Dar Es Salaam, Tanzania”, *Environ Earth Sci*, vol. 70 (3), pp 1091–1111, 2013, DOI 10.1007/s12665-012-2197-7.
- [10] Satrio dan R. P. I. Evarista, “Karakteristik Airtanah Akuifer Dalam Sekitar Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang-Bekasi, Jawa Barat”, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 18, no. 1, pp. 96–103, 2017.
- [11] S. M. Yidana, “The Stable Isotope Characteristics of Groundwater in The Volcanic Basin-An Evaluation of The Role of Meteoric Recharge in The Basin”, *J. Hydrogeol. Hydrol. Eng.*, vol. 2, no.2, pp. 1–10, 2013.
- [12] S. B. Muhammad and U. Sadiq, “Analysis of Stable Isotopic Composition of Precipitation in Katsina State in Nigeria As an Indication of Water Cycle”, *Adv. Phys. Theor. Appl.*, vol. 33, pp. 28–34, 2014.
- [13] N. Hendrikson, J. Karhu, and P. Niinikoski, “ ^{18}O , ^2H , and ^3H Isotopic Composition of Precipitation and Shallow Groundwater in Oulujoki”, *Posiva OY*, FI-27160 EURAJOKI, Finland, 2014.
- [14] Allen, J. R. Brooks, R. F. Keim, B. J. Bon, and J. J. McDonnell, “The Role of Pre-Event Canopy Storage in Throughfall and Stemflow by Using Isotopic Tracers”, *Ecohydrology*, 2013. DOI: 10.1002/eco.1408.
- [15] R. T. Andihutomo, Satrio, R. Prasetyo, dan A. B. Wijatna “Studi Interaksi Airtanah Dangkal dan Air Sungai di Sepanjang Daerah Aliran Kali Garang Semarang Menggunakan Isotop Stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ ”, *J. Eksplorium*, vol. 38, no. 1, pp. 43–48, 2017.
- [16] A. P. Uzoiye, A. Onunkwo-A., C. C. Uche, and Ashiegbu, “Evaluation of Groundwater Quality of Coastal Aquifer Systems in Buguma City”, *Rivers State South-Southern Nigerian Civil and Environmental Research*, vol.6, no.7, 2014.
- [17] A. K. Singh and S. R. Kumar, “Quality assessment of groundwater for drinking and irrigation use in semi-urban area of Tripura, India”, *Ecology, Environment and Conservation*, 21 (1), pp. 97–108, 2015.
- [18] L. Xing, H. Guo, and Y. Zhan, “Groundwater hydrochemical characteristics and processes along flow path in the North China Plain”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 70-71, pp. 250–264, 2013.
- [19] E. A. P. Gonti, A. B. Wijatna, dan Satrio, “Studi Interelasi Airtanah dan Air Lindi di Sekitar TPST Piyungan Yogyakarta”, in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV*, PTLR-BATAN dan Sekolah Ilmu Lingkungan-UI, 2017.